

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-230169

(43)Date of publication of application : 05.09.1997

(51)Int.Cl.

G02B 6/32
G02F 1/35

(21)Application number : 08-032417

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 20.02.1996

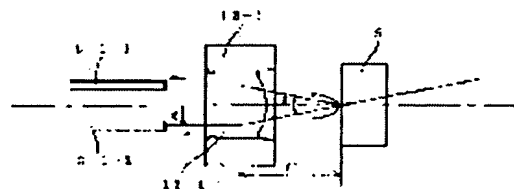
(72)Inventor : SAKAI YOSHIMITSU
TAKAHASHI YOSHIHIRO
TSUJI YUKIKO
NAGANUMA NORIHISA
FUKUSHIMA NOBUHIRO
ABE KENICHI

(54) TWO-FIBER COLLIMATOR STRUCTURE, OPTICAL CIRCUIT MODULE AND OPTICAL AMPLIFIER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized two-fiber collimator at a low cost having high reliability by constituting the collimator of two-fiber ferrule containing two pieces of fibers of an input side, respectively specified lens and an optical filter.

SOLUTION: The two-fiber ferrule makes outgoing light from two pieces of fibers of the fiber 8-1-1 being a signal light transmission line and the fiber 8-1-2 being an excitation light transmission line parallel to its own central line in an exit of its hole. A lens 12-1 refracts two pieces of outgoing light so that optical paths of two outgoing light intersect at a point on the central line. The optical filter 5 is arranged so that an intersection point of the optical paths of two outgoing light on the central line of the lens 12-1 is formed on an optical film, and the optical film is preferably made to be perpendicular to the central line of the lens 12-1. Then, the excitation light outgoing from one side fiber 8-1-2 is made the collimated light by the lens 12-1 to be emitted, and is reflected at the center of the optical film of the optical filter 5 to be coupled with the light from another side fiber 8-1-1.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

PARTIAL TRANSLATION OF JP 9-230169 A

Title of the Invention: Dual Fiber Collimator Structure,
Optical Circuit Module and Optical
Amplifier
Publication Date: September 5, 1997
Patent Application No.: 8-32417
Filing Date: February 20, 1996
Applicant: Fujitsu Limited

...

[0034]

Fig. 5 illustrates a first principle of adjustment for coupling an excited light to a signal light transmission channel. In Fig. 5, a fiber of a signal light transmission channel is indicated by 8-1-1, a fiber of an excited light transmission channel is indicated by 8-1-2, a first lens is indicated by 12-1, a lens assembly is indicated by 13-1, and an optical filter is indicated by 5. The drawing shows the case where the normal line at the end face of the optical filter is parallel to the optical axis of the dual-core fiber collimator.

[0035]

An excited light can be coupled to the signal light transmission channel if the above members are designed and fabricated in such a manner that the following relation:

$$x = d \cdot \tan \theta$$

is established, assuming that x is a distance between the center lines of the first lens and the fiber, θ is an angle of incidence or reflection of the excited light to the end face of the optical filter, d is a distance between the

center point of the first lens and the optical filter, and the size of a beam of light can be neglected.

[0036]

However, the optical filter is fixed to a lens holder by adhesion, and therefore the normal line at the end face of the optical filter is not necessarily parallel to the optical axis of the dual-core fiber collimator. Such a situation is illustrated in Fig. 6.

[0037]

Fig. 6 illustrates a second principle of adjustment for coupling an excited light to a signal light transmission channel, which represents a situation in which the end face of the optical fiber is tilted to be deviated from a correct angle by an angle ϕ . In this case, an excited light can be coupled to the signal light transmission channel if the center line of the dual-core fiber collimator is deviated from the center line of the first lens, and the distance x' of the center line of one fiber and the center line of the first lens is given by the following equation:

$$x' = d \cdot \tan(\theta' - \phi)$$

wherein θ' is an angle of incidence or reflection of the excited light to the end face of the optical filter, d is a distance between the center point of the first lens and the optical filter, and the size of a beam of light can be neglected.

[0038]

In other words, if the size of a beam of light is negligible, an excited light can be coupled to the signal light transmission channel when the positions of a sleeve and

a lens holder are adjusted relative to the direction of contacting interface between the sleeve and the lens holder (which is assumed to be the x-y axes direction), as shown in Fig. 3. In addition, it is not needed to actually measure the amounts of θ' and ϕ , and it is sufficient to find a position at which an incident light from one of the two fibers exits from the other at the largest intensity by displacing in parallel the sleeve and the lens holder along their joining faces (by moving in parallel the center line of the dual-core fiber collimator relative to the center line of the first lens).

...

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-230169

(43) 公開日 平成9年(1997)9月5日

(51) Int. Cl. ⁶

G02B 6/32

G02F 1/35

識別記号

501

F I

G02B 6/32

G02F 1/35

501

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願平8-32417

(22) 出願日 平成8年(1996)2月20日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 酒井 喜充

北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地
富士通北海道デジタル・テクノロジー株
式会社内

(72) 発明者 高橋 義宏

北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地
富士通北海道デジタル・テクノロジー株
式会社内

(74) 代理人 弁理士 井桁 貞一

最終頁に続く

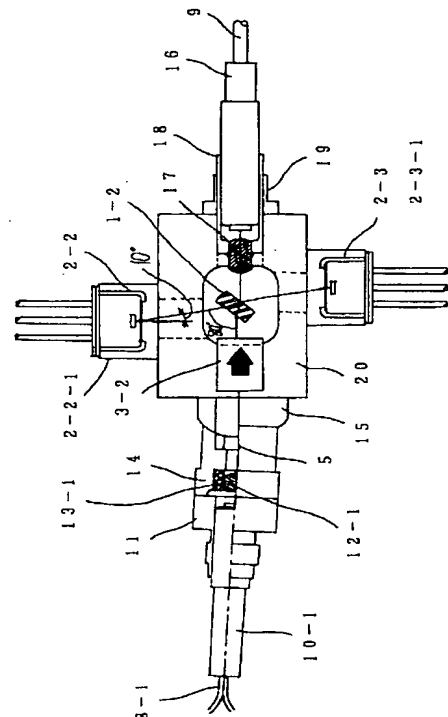
(54) 【発明の名称】 2芯ファイバ・コリメータ構造、光回路モジュール及び光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 2芯ファイバ・コリメータ構造、光回路モジュール及び光増幅器に関し、小型で低コストであり、且つ高い信頼度を持つ2芯ファイバ・コリメータ構造、光回路モジュール及び光増幅器を提供する。

【解決手段】 2本のファイバを同一の孔に圧入され、該孔の出口において該2本のファイバの出射光の光軸を自己の中心線と平行にする2芯フェルルールと、該2本ファイバの二の出射光の光路が、自己の中心線上の点で交差するように屈折させるレンズと、該レンズの中心線上の二の出射光の光路の交点が光学膜上に形成され、好ましくは該光学膜が該レンズの中心線に垂直に配置された光学素子とを備えて構成する。

2芯ファイバ・コリメータを用いた光回路モジュールの構成 (その1)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 本のファイバを同一の孔に圧入され、該孔の出口において該 2 本のファイバの出射光の光軸を自己の中心線と平行にする 2 芯フェルルと、該 2 本ファイバの二の出射光の光路が、自己の中心線上の点で交差するように屈折させるレンズと、該レンズの中心線上の二の出射光の光路の交点が光学膜上に形成され、好ましくは該光学膜が該レンズの中心線に垂直に配置された光学素子とを備えることを特徴とする 2 芯ファイバ・コリメータ構造。

【請求項 2】 請求項 1 記載の 2 芯ファイバ・コリメータ構造であって、前記光学素子は、ガラス基板を使用し、該ガラス基板の光路に入る面のうち、前記 2 本のファイバ側の面に TiO_2 と SiO_2 の多層膜を形成した光ろ波器であることを特徴とする 2 芯ファイバ・コリメータ構造。

【請求項 3】 請求項 1 記載の 2 芯ファイバ・コリメータ構造であって、前記光学素子は、透明素材を使用し、該透明素材の光路に入る面のうち、前記 2 本のファイバ側の面に TiO_2 と SiO_2 の多層膜を形成した分岐器であることを特徴とする 2 芯ファイバ・コリメータ構造。

【請求項 4】 請求項 1 記載の 2 芯ファイバ・コリメータ構造であって、前記 2 芯フェルルの中心線を前記レンズの中心線に対して平行移動することによって、前記 2 本ファイバの一方を出射した光が該 2 芯ファイバのもう一方に入射する調整機構を備えることを特徴とする 2 芯ファイバ・コリメータ構造。

【請求項 5】 請求項 2 記載の 2 芯ファイバ・コリメータ構造であって、前記 2 芯フェルルと前記レンズとの距離を調整する機構を備えることを特徴とする 2 芯ファイバ・コリメータ構造。

【請求項 6】 請求項 1 乃至請求項 5 のいずれかに記載の 2 芯ファイバ・コリメータ構造を、入力側のポートと出力側のポートの少なくとも一方に用いることを特徴とする光回路モジュール。

【請求項 7】 請求項 2 記載の光回路モジュールであって、前記 2 芯ファイバ・コリメータ構造から出射された光を受けてその一部を分岐する分岐器の光学膜に対する該出射光の入射角を 22.5 度より大きく 45 度より小さく設定することを特徴とする光回路モジュール。

【請求項 8】 請求項 6 又は請求項 7 記載の光回路モジュールを適用することを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、2 芯ファイバ・コリメータ構造、光回路モジュール及び光増幅器に係り、特に、小型で低コストであり、且つ高い信頼度を持つ 2 芯ファイバ・コリメータ構造、光回路モジュール及び光増幅器に関する。

【0002】稀土類元素を添加した増幅ファイバを用いた光増幅技術が実用化の段階を迎えている。光増幅器においては、増幅ファイバに添加されている稀土類元素を励起する励起光を信号光と合波する必要がある。この信号光と励起光とを合波するための光回路モジュールには小型、低コスト、高信頼度が要求され、この主要な構成要素である 2 芯ファイバ・コリメータ構造にも同様に小型、低コスト、高信頼度が要求されている。

【0003】

【従来の技術】図 11 は、従来の光ファイバ増幅器の光回路の構成である。図 11 において、1-1 は入力信号光の一部を分岐する第一の分波器、2-1 は該分岐された信号光を電気変換して図示していない入力信号光のモニタ回路に供給する第一のフォト・ダイオード、3-1 は増幅ファイバに添加されている稀土類元素を励起する励起光が入力側の光伝送路に漏れ出るのを防止する第一のアイソレータで、以上の素子によって前段モジュールが構成される。4 は稀土類元素を添加された増幅ファイバ、5 は後述する励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該増幅ファイバに結合し、信号光は透過させる光ろ波器、6 は励起光を発生する励起レーザ・ダイオード、7-1 は該励起レーザ・ダイオードの出力光を前記光ろ波器に導く第一の全反射素子、3-2 は出力側の光伝送路からの反射されてくる信号光が増幅ファイバに入力されるのを素子する第二のアイソレータ、1-2 は該アイソレータから出力される信号光と出力側の光伝送路から反射されてくる信号光の一部を分岐する第二の分波器、2-2 は該第二の分波器で分岐される出力信号光を電気変換して図示していない出力信号光のモニタ回路に供給する第二のフォト・ダイオード、2-3 は該第二の分波器で分岐される反射信号光を電気変換して図示していない反射光のモニタ回路に供給する第三のフォト・ダイオード、7-2 は該第二の分波器で分岐される反射信号光を該第三のフォト・ダイオードに導く第二の全反射素子で、以上の素子によって後段モジュールが構成される。

【0004】尚、図 11 においては、光ファイバを通して光が伝搬される部位は太い実線で、空間やレンズなどの光学素子を通して光が伝搬される部位は太い破線で、電気信号が伝搬される部位は細い実線で示している。

【0005】入力側の光伝送路から受信された信号光の一部は第一の分波器によって分岐され、第一のフォト・ダイオードによって電気変換されて入力信号光のモニタ

回路に供給される。入力信号光のモニタ回路の出力は励起レーザ・ダイオードの自動レベル制御や入力信号光断の警報などに用いられる。

【 0 0 0 6 】該第一の分波器を通過した信号光は稀土類元素を添加された増幅ファイバに導かれる。該増幅ファイバには励起レーザ・ダイオードが出力する励起光も光ろ波器を介して導かれる。そして、該励起光によって増幅ファイバに添加された稀土類元素が一旦エネルギーが高い準位に励起され、それが元のエネルギー準位に戻る時に誘導放出により信号光を増幅する。増幅された信号光は第二の分波器と第二のフォト・ダイオードによって電気変換されて出力信号光のモニタ回路に供給される。出力信号光のモニタ回路の出力は励起レーザ・ダイオードの自動レベル制御や出力信号光断の警報などに用いられる。

【 0 0 0 7 】第二の分波器を通過した出力信号光は出力側の光伝送路に送出される。出力側において、光伝送路と光ファイバ増幅器とのコネクタが外れたり、光伝送路が断線した場合には出力信号光が反射されて戻ってくる。これを第二の分波器は第三のフォト・ダイオードによって電気変換してモニタする。

【 0 0 0 8 】以上が図 1 1 に示した従来の光ファイバ増幅器の光回路の構成と動作であるが、次に図 1 1 の光回路を構成する光回路モジュールの構造を説明する。図 1 2 は、従来の光回路モジュールのうち後段モジュールである。

【 0 0 0 9 】図 1 2 において、図 1 1 と同じ符号のものは同じ構成要素を表わすが、ここでも全ての構成要素の説明を行なう。2 1 - 1 は稀土類元素を添加された増幅ファイバと後段モジュールを接続する第一のポート、2 1 - 2 は励起光を後段モジュールに供給する第二のポート、2 1 - 3 は出力信号光を光伝送路に結合する第三のポートで、これらは同じ構造で出来上がっている。第一のポートだけについてその詳細を示すと、2 1 - 1 - 1 はフェルール、2 1 - 1 - 2 はキャピラリ 2 1 - 1 - 3 はレンズ、2 1 - 1 - 4 はレンズホルダ、2 1 - 1 - 5 はパイプ、2 1 - 1 - 6 はブロック、2 1 - 1 - 7 はゴム・ブッシュである。5 は図示されていない励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該増幅ファイバに結合し、信号光は透過させる光ろ波器、7 - 1 は該励起光を該光ろ波器に導く第一の全反射素子、3 - 2 は出力側の光伝送路からの反射されてくる信号光が増幅ファイバに入力されるのを阻止する第二のアイソレータ、1 - 2 は該アイソレータから出力される信号光と出力側の光伝送路から反射されてくる信号光の一部を分岐する第二の分波器、2 - 2 は該第二の分波器で分岐される出力信号光を電気変換して図示していない出力信号光のモニタ回路に供給する第二のフォト・ダイオード、2 - 3 は該第二の分波器で分岐される反射信号光を電気変換して図示していない反射光のモニタ回路に供給する第三のフォト・

ダイオード、7 - 2 は該第二の分波器で分岐される反射信号光を該第三のフォト・ダイオードに導く第二の全反射素子、2 2 は筐体である。尚、2 - 2 - 1 及び 2 - 3 - 1 は、各々、第二のフォト・ダイオードと第三のフォト・ダイオードを該筐体にとりつけるための第二のフォト・ダイオード・ホルダと第三のフォト・ダイオード・ホルダである。

【 0 0 1 0 】ここで、機械的には、パイプとレンズ・ホルダ、レンズ・ホルダとフェルールは予め溶接されており、パイプとブロックは光路調整をした後溶接される。又、ブロックと筐体、フォト・ダイオード・ホルダと筐体も溶接されている。更に、全反射素子、光ろ波器及び分波器は筐体にエポキシ系の接着剤で接着されている。

【 0 0 1 1 】光学的には、信号光伝送路と励起光伝送路とを独立なファイバ・コリメータで構成しており、しかも、信号光伝送路と励起光伝送路とを平行に配置している。そして、第一のポートと第二のポートからレンズを介して後段モジュール内に導かれた光は平行光線になるようにしている。又、光路構成が最も簡単になるように、全反射素子、分波器、光ろ波器に形成されている光学膜が光路に対して 4 5 度の角度になるように配置されている。このため、一方のフォト・ダイオードの端面で反射した光が他方のフォト・ダイオードに入射されないように、傾斜をつけたフォト・ダイオード・ホルダを用いてフォト・ダイオードの光軸が筐体の端面に立てた法線に一致しないようにしている。

【 0 0 1 2 】図 1 3 は、従来のセルフロック・レンズを用いて励起光と信号光とを結合する構成である。図 1 3 において、8 - 1 - 1 は稀土類元素を添加された増幅ファイバ、8 - 1 - 2 は励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を伝送するファイバである。2 5 は 1 / 4 ピッチのセルフロック・レンズ、5 は図示されていない励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該増幅ファイバに結合し、信号光を透過させる光ろ波器である。

【 0 0 1 3 】二のファイバ 8 - 1 - 1 及び 8 - 1 - 2 はセルフロック・レンズの中心に関して対称な位置で該セルフロック・レンズと接着されており、該セルフロック・レンズは二のファイバと接着されている面とは反対側の面で光ろ波器と接着されている。光ろ波器のろ波膜はセルフロック・レンズと接着される面に形成されており、ファイバ 8 - 1 - 2 からセルフロック・レンズに入射された励起光はろ波膜で反射されて増幅ファイバへと導かれる。そして、増幅ファイバで増幅された信号光はファイバ 8 - 1 - 1、セルフロック・レンズ及び光ろ波器を通過して図 1 3 の右側へ出射される。

【 0 0 1 4 】

【発明が解決しようとする課題】図 1 2 の構成では、光学的には、信号光伝送路と励起光伝送路とを独立なファイバ・コリメータで構成しており、実装スペースをできるだけ小さくするために信号光伝送路と励起光伝送路と

を平行に配置している。このため、励起光を信号光伝送路に結合するために全反射素子7-1を必要とし、該全反射素子7-1と光ろ波器5との間の空間の分だけ後段モジュールが大きくなる。

【0015】又、光路構成が最も簡単になるように、全反射素子、分波器、光ろ波器に形成されている光学膜が光路に対して45度の角度になるように配置されている。従って、一方のフォト・ダイオードの端面で反射した光が他方のフォト・ダイオードに入射されないように、フォト・ダイオードの光軸が筐体の端面に立てた法線に一致しないようにするためにフォト・ダイオード・ホルダ2-2-1及び2-3-1を用いなければならない。

【0016】更に、光軸と全反射素子、分波器、光ろ波器に形成されている光学膜が光路に対して45度の角度になるように配置されているために偏光依存性が大きくなっていて好ましくない。

【0017】図13の構成においては、2芯ファイバとセルフロック・レンズが接着剤で接着されており、又、セルフロック・レンズと光ろ波器も接着剤で接着されている。ファイバからの出射点における光のビーム径は10ミクロンのオーダーであり、その狭いビームに閉じ込められた光パワーは20~200ミリ・ワットのオーダーと大きいので、接着剤中の炭素や不純物が光エネルギーを吸収して発熱し、接着剤の劣化が進む恐れがある。

【0018】上記のように、図12に示した技術では素子数を多く必要とする上に小型化が困難であり、図13に示した技術では信頼性に問題がある。本発明は、かかる問題を解決することができる、小型で低コストであり、且つ高い信頼度を持つ2芯ファイバ・コリメータ構造及び光回路モジュール構造を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】図1は、2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成(その1)である。

【0020】図1において、1-1は入力信号光の一部を分岐する第一の分岐器、2-1は該分岐された信号光を電気変換して図示していない入力信号光のモニタ回路に供給する第一のフォト・ダイオード、3-1は増幅ファイバに添加されている稀土類元素を励起する励起光が入力側の光伝送路に漏れ出るのを防止する第一のアイソレータで、以上の素子によって前段モジュールが構成される。4は稀土類元素を添加された増幅ファイバ、5は後述する励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該増幅ファイバに結合し、信号光を透過させる光ろ波器、6は励起光を発生する励起レーザ・ダイオード、3-2は出力側の光伝送路からの反射されてくる信号光が増幅ファイバに入力されるのを阻止する第二のアイソレータ、1-2は該アイソレータから出力される信号光と出

力側の光伝送路から反射されてくる信号光の一部を分岐する第二の分岐器、2-2は該第二の分岐器で分岐される出力信号光を電気変換して図示していない出力信号光のモニタ回路に供給する第二のフォト・ダイオード、2-3は該第二の分岐器で分岐される反射信号光を電気変換して図示していない反射光のモニタ回路に供給する第三のフォト・ダイオードで、以上の素子によって後段モジュールが構成される。

【0021】図1においては、光ファイバを通して光が伝搬される部位は太い実線で、空間やレンズなどの光学素子を通して光が伝搬される部位は太い破線で、電気信号が伝搬される部位は細い実線で示している。ここで、2芯ファイバ・コリメータは後段モジュールで増幅ファイバ及び励起光を伝送するファイバと光ろ波器が結合される部分に適用されている。

【0022】図2は、2芯ファイバ・コリメータを用いた後段モジュールの構成である。図2において、8-1は後段モジュールへの入力側の2本のファイバで、一方は信号光を増幅する稀土類元素添加ファイバを含む信号光伝送路側のファイバ、もう一方は励起光伝送路側のファイバである。10-1は2芯フェルール、11は2芯フェルールを後述するレンズ・ホルダに固定するためのスリーブ、12-1は第一のレンズ、13-1は該第一のレンズ12-1を含むレンズ・アセンブリ、5は光ろ波器、14は第一のレンズ・ホルダ、15は凸ブロックで、以上の構成要素によって2芯ファイバ・コリメータが構成される。20は筐体である。

【0023】又、3-2は出力側で反射された信号光が入力側に漏れ出すのを阻止するアイソレータ、1-2は該アイソレータの出力光である信号光の一部を分岐し、又、出力側から反射されてくる信号光の一部を分岐する第二の分岐器、2-2は出力信号光の一部を電気変換して図示していない出力光のモニタ回路に供給する第二のフォト・ダイオード、2-3は反射信号光の一部を電気変換して図示していない反射光のモニタ回路に供給する第三のフォト・ダイオード、2-2-1は該第二のフォト・ダイオードを該筐体に固定する第二のフォト・ダイオード・ホルダ、2-3-1は該第三のフォト・ダイオードを該筐体に固定する第三のフォト・ダイオード・ホルダである。

【0024】更に、17はコリメータ・ビームを出力側の光ファイバに結合する第二のレンズ、18は該第二のレンズを固定する第二のレンズ・ホルダ、19はコモン・ガイド、16は1芯フェルール、9は信号出力ファイバである。

【0025】図2の構成の特徴は、

- ① 信号光伝送路と励起光伝送路とを2芯ファイバ・コリメータで構成し、且つ、
- ② 第一のレンズとファイバ、及び第一のレンズと光ろ波器を接着せずに固定し、

③ 光ろ波器を 2 芯ファイバ・コリメータの光軸に垂直に配置して励起光を反射させて信号光伝送路に結合させ、又、

④ 第二の分岐器の光学膜の面に対する光の入射角を 45 度より小さくして偏光依存性を改善すると共に、第二、第三のフォト・ダイオードの光軸を筐体の端面に垂直にしても一方のフォト・ダイオードの端面での反射光が他方のフォト・ダイオードに入射されないようにしている点である。

【0026】即ち、2 芯ファイバ・コリメータ化によって光学素子の数を減少させることができ、同時に後段モジュールを小型化することができ、更に、後段モジュールの偏光依存性を改善できる。

【0027】

【発明の実施の形態】図 2 の構成において、2 芯フェルールとスリーブは溶接され、第一のレンズ・ホルダとスリーブ及び第一のレンズ・ホルダと凸ブロックは光軸調整の後に溶接され、該凸ブロックと筐体も溶接される。同様に、1 芯フェルールと第二のレンズ・ホルダ、第二のレンズ・ホルダとコモン・ガイド、コモン・ガイドと筐体も溶接される。又、第二、第三のフォト・ダイオード・ホルダと筐体も溶接される。即ち、金属で出来ている部材は溶接固定する。

【0028】一方、光ろ波器をレンズ・ホルダに固定するのは接着である。ただし、光ろ波器の周囲のみに接着剤を塗布して接着するので、光路には接着剤は存在しない。図 3 は、2 芯ファイバ・コリメータ部の拡大図である。

【0029】図 3 において、8-1 は入力側の 2 本のファイバで、一方は信号光を増幅する稀土類元素添加ファイバを含む信号光伝送路側のファイバ、もう一方は励起光伝送路側のファイバである。10-1 は 2 芯フェルール、11 はスリーブ、12-1 は第一のレンズ、13-1 はレンズ・アセンブリ、14 は第一のレンズ・ホルダ、5 は光ろ波器である。

【0030】ここで、光ろ波器は典型的にはガラスを素材として、2 本のファイバからの光が直接当たる面に TiO_2 と SiO_2 の薄膜を複数層蒸着して形成する。ガラスが所謂 BK-7 の場合 TiO_2 と SiO_2 の薄膜を 20 層程度蒸着すると、1.55 ミクロンの信号光は殆ど透過し、1.48 ミクロンの励起光は殆ど反射される。

【0031】図 4 は、2 芯フェルールの詳細である。図 4 において、8-1 は入力側の 2 本のファイバで、一方は信号光を増幅する稀土類元素添加ファイバを含む信号光伝送路側のファイバ、もう一方は励起光伝送路側のファイバである。10-1 は 2 芯フェルール、10-1-1 はキャピラリである。又、10-1-2 の部分には入力側の 2 本のファイバを 2 芯フェルール及びキャピラリに固定するための接着剤が充填されている。

【0032】即ち、2 芯フェルールとキャピラリの空洞に接着剤を充填した後に 2 芯ファイバを該空洞に圧入し、加熱して接着剤を硬化させて図 4 の構成を作り上げる。2 本のファイバのキャピラリに圧入される部分は被覆を除去されてファイバ素線をむき出しにされている。そして、キャピラリの入口の空洞は直径を大きくしてスムーズに圧入できるようにしてあり、キャピラリの出口の空洞は直径をファイバ素線の直径の 2 倍に等しくしてある。従って、キャピラリの出口において 2 本のファイバ素線の中心とキャピラリの中心とは一直線上をなす。又、キャピラリの直径がファイバ素線の直径の 2 倍になっている部分をファイバ素線の直径より十分長くしておけば、キャピラリの出口において 2 本のファイバ素線を平行にすることができる。

【0033】従って、一方のファイバ素線から出射された励起光を第一のレンズでコリメート光にして出射し、光ろ波器の光学膜の中心で反射させてもう一方のファイバ素線に結合させるための調整が容易になる。

【0034】図 5 は、励起光を信号光伝送路に結合するための調整の原理（その 1）である。まず図 5 において、8-1-1 は信号光伝送路であるファイバ、8-1-2 は励起光伝送路であるファイバ、12-1 は第一のレンズ、13-1 はレンズ・アセンブリ、5 は光ろ波器であり、この図は光ろ波器の端面に立てた法線が 2 芯ファイバ・コリメータの光軸と平行になる場合を示している。

【0035】 x を第一のレンズの中心線とファイバの中心線との間の距離とし、励起光の光ろ波器の端面に対する入射角と反射角を θ とし、第一のレンズの中心点と光ろ波器との距離を d とし、光ビームの太さを無視できる時、

$$x = d \cdot \tan \theta$$

が成立するように設計され、組み立てられていれば励起光を信号光伝送路に結合させることができる。

【0036】しかし、光ろ波器は接着でレンズ・ホルダに固定するので、光ろ波器の端面に立てた法線が 2 芯ファイバ・コリメータの光軸に平行になるとは限らない。この状態を図示したのが図 6 である。

【0037】図 6 は、励起光を信号光伝送路に結合するための調整の原理（その 2）で、光ろ波器の端面が本来あるべき角度から ϕ だけ傾いて固定されている状態を図示している。この場合には、励起光の光ろ波器の端面に対する入射角と反射角を θ' とし、第一のレンズの中心点と光ろ波器との距離を d とし、光ビームの太さを無視できる時、2 芯ファイバ・コリメータの中心線を第一のレンズの中心線からずらして、一方のファイバの中心線と第一のレンズの中心線との距離が次の式で与えられる x' となるようにすれば、励起光を信号光伝送路に結合することができる。

$$x' = d \cdot \tan (\theta' - \phi)$$

即ち、光ビームの太さを無視できるならば、図 3 に示したようにスリーブとレンズ・ホルダとの接触面の方向

(これを x 、 y 軸方向とする。) にスリーブとレンズ・ホルダの相対的な位置を調整すれば励起光を信号光伝送路に結合することができる。しかも、 θ' や ϕ などの量を実測する必要はなく、スリーブとレンズ・ホルダをそれらの接合面に沿って平行にずらして (2 芯ファイバ・コリメータの中心線を第一のレンズの中心線に対して平行移動して)、2 本のファイバの一方から入射した光がもう一方から最大に出射される位置を探すだけでよい。

【0039】しかし、実際には光ビームの太さを無視できないし、第一のレンズの収差などの誤差要因も存在するので、図 3 に示した 2 芯ファイバ・コリメータの軸方向 (これを z 軸方向とする。) の調整も行なう必要性が生ずる。

【0040】従って、励起光の結合の調整と 2 芯ファイバ・コリメータ部の溶接固定の手順は以下のようになる。

① 2 芯フェルールとスリーブを組合せ、レンズ・ホルダにレンズ・アセンブリと光ろ波器を取りつける。

【0041】② 2 芯フェルールとスリーブを組み合わせた物と、レンズ・アセンブリと光ろ波器を取りつけたレンズ・ホルダとを組み合わせる。

③ スリーブに対する 2 芯フェルールの位置を z 軸方向に調整し、レンズ・ホルダに対するスリーブの位置を x 、 y 軸方向に調整して、2 芯ファイバ間の結合の最大点を探す。

【0042】④ 2 芯フェルールをスリーブに溶接固定する。この際、スリーブの厚さが小さい箇所において、スリーブの中心に関して対称な点を同時に貫通溶接する。

⑤ 再びレンズ・ホルダに対するスリーブの位置を x 、 y 軸方向に調整して、2 芯ファイバ間の結合の最大点を探す。

【0043】⑥ スリーブとレンズ・ホルダとを、両者が接合している線上で溶接する。この際、スリーブの中心に関して対称な点を同時に溶接する。

この後、上記のようにして組み立てられた 2 芯ファイバ・コリメータ構造を筐体側に固定するが、この時に、球面すりあわせ構造になっているレンズ・ホルダと凸ブロックの接合面を回転させて、2 芯ファイバのうち信号光伝送路であるファイバと 1 芯ファイバとの結合が最大になる角度になったところでレンズ・ホルダと凸ブロックを溶接固定する。この場合にもレンズ・ホルダの中心に関して対称な点を同時に溶接する。

【0044】以上で図 2 の構成の組立に関する説明を終りにして、次に第二の分岐器に対する光の入射角について説明する。図 7 は、第二の分岐器に対する光の入射角を検討するための図である。

【0045】図 7 において、23 は第二の分岐器の光学

膜の面、24 はフォト・ダイオードの入射面と平行な面 (以降は単に「入射面」と呼ぶことにする。) である。

従来のように光学膜に対する入射角が 45 度の場合には光学膜で反射した光はフォト・ダイオードの入射面に垂直に垂直に入射する。この場合にはフォト・ダイオードの入射面での偏光依存性はないが、光学膜での偏光依存性が悪くなっている。

【0046】そこで、光学膜の角度を 45 度から α だけ傾けて光学膜への入射角を $(45^\circ - \alpha)$ にすると、光学膜での反射光のフォト・ダイオードの入射面への入射角は 2α となる。

【0047】従来、光学膜に対する入射角を 45 度としており、好ましくはないがこれを実用的な限界と考え、光学膜の偏光特性とフォト・ダイオードの入射面の偏光特性が類似しているものとする、フォト・ダイオードへの入射角 2α は 45 度未満であることが望ましい。即ち、 α は 0 度より大きく 22.5 度より小さい角度となる。従って、光学膜への入射角は 22.5 度より大きく 45 度より小さくするのが望ましい。

【0048】さて、図 2 の構成は図 1 における後段の光回路において増幅ファイバ及び励起光を伝送するファイバと光ろ波器が結合される部分 2 芯ファイバ・コリメータを適用する例であったが、2 芯ファイバ・コリメータは他の部位にも適用することができる。

【0049】図 8 は、2 芯ファイバ・コリメータを用いた後段モジュールの構成 (その 2) である。図 8 において、8-1 は後段モジュールへの入力側の 2 本のファイバで、一方は信号光を増幅する稀土類元素添加ファイバを含む信号光伝送路側のファイバ、もう一方は励起光伝送路側のファイバである。10-1 は第一の 2 芯フェルール、11-1 は第一の 2 芯フェルールを後述する第一のレンズ・ホルダに固定するための第一のスリーブ、12-1 は第一のレンズ、13-1 は該第一のレンズ 12-1 を含む第一のレンズ・アセンブリ、5 は光ろ波器、14-1 は第一のレンズ・ホルダ、15-1 は第一の凸ブロックで、以上の構成要素によって第一の 2 芯ファイバ・コリメータが構成される。

【0050】20 は筐体である。又、3-2 は出力側で反射された信号光が入力側に漏れ出すのを阻止するアイソレータ、1-2 は該アイソレータの出力光である信号光の一部を分岐する第二の分岐器、2-2 は出力信号光の一部を電気変換して図示していない出力光のモニタ回路に供給する第二のフォト・ダイオード、2-2-1 は該第二のフォト・ダイオードを該筐体に固定する第二のフォト・ダイオード・ホルダである。

【0051】更に、8-2 は後段モジュールの出力側の 2 本のファイバで、一方は信号光の出力ファイバ、もう一方は反射光を図示していない反射光モニタ用のフォト・ダイオードに導くファイバである。10-2 は第二の 2 芯フェルール、11-2 は第二の 2 芯フェルールを後

述する第二のレンズ・ホルダに固定するための第二のスリーブ、12-2は第二のレンズ、13-2は該第二のレンズ12-2を含む第二のレンズ・アセンブリ、1-3は第三の分岐器、14-2は第二のレンズ・ホルダ、15-2は第二の凸ブロックで、以上の構成要素によって第二の2芯ファイバ・コリメータが構成される。

【0052】図8の構成において、第二の2芯ファイバ・コリメータの、第一の2芯ファイバ・コリメータに光ろ波器が設けられている箇所には第三の分岐器が設けられているのが、第二の2芯ファイバ・コリメータと第一の2芯ファイバ・コリメータとの唯一の差異である。

【0053】即ち、出力側の2本のファイバの一方は出力側の光伝送路であり、そのもう一方は出力側から反射されてくる信号光の一部を第三の分岐器から受けて、図示していない反射光を電気変換するフォト・ダイオードへと導くファイバである。この構造を採用することにより、出力信号光の反射光モニタ用のフォト・ダイオードへの漏話が完全になくなり、且つ、筐体に固定するフォト・ダイオードの数が減って実装上の制約が緩くなる。

【0054】更に、第三の分岐器をガラス基板で構成し、該ガラス基板のファイバ側の面をガラス素面とし、該ガラス基板のそれとは反対側の面に TiO_2 と SiO_2 膜よりなる無反射膜を蒸着してガラス素面でのフレネル反射によって光を分岐しているの、非常に低価格な分岐器が実現できる。ガラス素材が所謂BK-7の場合には、無反射膜の層数を4とすれば、分岐比は24:1となる。この場合、反射光の偏光依存性について考慮する必要があるが、2芯ファイバ・コリメータ構造における分岐器への光の入射角が3~5度程度では0.1dB以下で問題にはならない。尚、サファイアや石英等の透明部材を使用することも可能で、この場合には分岐比が上記とは異なるものになる。

【0055】図9は、2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成(その2)である。図9において、1-1は入力信号光の一部を分岐する第一の分岐器、2-1は該分岐された信号光を電気変換して図示していない入力信号光のモニタ回路に供給する第一のフォト・ダイオード、3-1は増幅ファイバに添加されている稀土類元素を励起する励起光が入力側の光伝送路に漏れ出るのを防止する第一のアイソレータ、5-1は後述する第一の励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該増幅ファイバに結合し、信号光を透過させる第一の光ろ波器、6-1は励起光を発生する第一の励起レーザ・ダイオードで、以上の素子によって前段モジュールが構成される。4は稀土類元素を添加された増幅ファイバ、5-2は後述する第二の励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該増幅ファイバに結合し、信号光を透過させる第二の光ろ波器、6-2は励起光を発生する第二の励起レーザ・ダイオード、3-2は出力側の光伝送路からの反射されてくる信号光が増幅ファイバに入

力されるのを阻止する第二のアイソレータ、1-2は該アイソレータから出力される信号光と出力側の光伝送路から反射されてくる信号光の一部を分岐する第二の分岐器、2-2は該第二の分岐器で分岐される出力信号光を電気変換して図示していない出力信号光のモニタ回路に供給する第二のフォト・ダイオード、2-3は該第二の分岐器で分岐される反射信号光を電気変換して図示していない反射光のモニタ回路に供給する第三のフォト・ダイオードで、以上の素子によって後段モジュールが構成される。この構成は、増幅ファイバに両方向から励起光を供給して増幅ファイバの利得を上げるためのものである。

【0056】図9においても、光ファイバを通して光が伝搬される部位は太い実線で、空間やレンズなどの光学素子を通して光が伝搬される部位は太い破線で、電気信号が伝搬される部位は細い実線で示している。ここで、2芯ファイバ・コリメータは前段モジュールで増幅ファイバ及び励起光を伝送するファイバと光ろ波器が結合される部分と、後段モジュールで増幅ファイバ及び励起光を伝送するファイバと光ろ波器が結合される部分に適用されている。

【0057】2芯ファイバ・コリメータ構造及びその筐体への取付け構造などは図2と同様であるので、上記前段モジュール及び後段モジュールを図示することは省略する。

【0058】図10は、2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成(その3)である。図10において、1-1は入力信号光の一部を分岐する第一の分岐器、2-1は該分岐された信号光を電気変換して図示していない入力信号光のモニタ回路に供給する第一のフォト・ダイオード、3-1は増幅ファイバに添加されている稀土類元素を励起する励起光が入力側の光伝送路に漏れ出るのを防止する第一のアイソレータで、以上の素子によって前段モジュールが構成される。

【0059】4-1は稀土類元素を添加された第一の増幅ファイバである。5-1は後述する第一の励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該増幅ファイバに結合し、信号光を透過させる第一の光ろ波器、6-1は励起光を発生する第一の励起レーザ・ダイオード、5-2は後述する第二の励起レーザ・ダイオードが出力する励起光を該後述する第二の増幅ファイバに結合し、信号光を透過させる第二の光ろ波器、6-2は励起光を発生する第二の励起レーザ・ダイオードで、以上の素子によって中段モジュールが構成される。

【0060】尚、中段モジュールにおいて、第一の光ろ波器と第二の光ろ波器の間又は第二の光ろ波器の直後にアイソレータが設けられることもある。4-2は稀土類元素を添加された第二の増幅ファイバである。

【0061】3-2は出力側の光伝送路からの反射されてくる信号光が増幅ファイバに入力されるのを阻止する

10

20

30

40

50

第二のアイソレータ、1-2は該アイソレータから出力される信号光と出力側の光伝送路から反射されてくる信号光の一部を分岐する第二の分岐器、2-2は該第二の分岐器で分岐される出力信号光を電気変換して図示していない出力信号光のモニタ回路に供給する第二のフォト・ダイオード、2-3は該第二の分岐器で分岐される反射信号光を電気変換して図示していない反射光のモニタ回路に供給する第三のフォト・ダイオードで、以上の素子によって後段モジュールが構成される。この構成は、増幅ファイバを2段にして各々の増幅ファイバに固有の励起レーザ・ダイオードを設けて、光ファイバ増幅器としての利得を上げるためのものである。

【0062】図10においても、光ファイバを通して光が伝搬される部位は太い実線で、空間やレンズなどの光学素子を通して光が伝搬される部位は太い破線で、電気信号が伝搬される部位は細い実線で示している。ここで、2芯ファイバ・コリメータは中段モジュールで増幅ファイバ及び励起光を伝送するファイバと光ろ波器が結合される2ヶ所に適用されている。

【0063】2芯ファイバ・コリメータ構造及びその筐体への取付け構造などは図2と同様であるので、上記前段モジュール及び後段モジュールを図示することは省略する。

【0064】即ち、2芯ファイバ・コリメータを用いた光回路モジュールの構成は、図2の光回路モジュールのように2芯ファイバ・コリメータが光回路モジュールの入力側に適用される形式に限定されず、光回路モジュールの出力側に適用される形式も、光回路モジュールの入力側と出力側の双方に適用される形式もある。

【0065】

【発明の効果】以上詳述した如く、本発明により、小型で低コストであり、且つ高い信頼度を持つ2芯ファイバ・コリメータ、及び光回路モジュール及び光増幅器を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成（その1）。

【図2】 2芯ファイバ・コリメータを用いた後段モジュールの構成（その1）。

【図3】 2芯ファイバ・コリメータ部の拡大図。

【図4】 2芯フェルールの詳細。

【図5】 励起光を信号光伝送路に結合するための調整の原理（その1）。

【図6】 励起光を信号光伝送路に結合するための調整の原理（その2）。

【図7】 第二の分岐器に対する光の入射角を検討するための図。

【図8】 2芯ファイバ・コリメータを用いた後段モジュールの構成（その2）。

【図9】 2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成（その2）。

【図10】 2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成（その3）。

【図11】 従来の光ファイバ増幅器の光回路の構成。

【図12】 従来の光回路モジュールのうち後段モジュール。

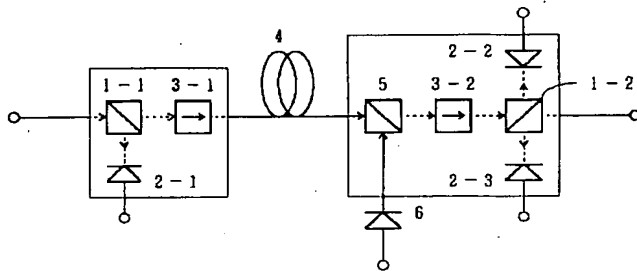
【図13】 従来のセルフロック・レンズを用いて励起光と信号光とを結合する構成。

【符号の説明】

1-2	第二の分岐器
2-2	第二のフォト・ダイオード
2-2-1	第二のフォト・ダイオード・ホルダ
2-3	第三のフォト・ダイオード
2-3-1	第三のフォト・ダイオード・ホルダ
3-2	第二のアイソレータ
5	光ろ波器
8-1	入力側の2本のファイバ
9	出力側のファイバ
10-1	2芯フェルール
11	スリーブ
12-1	第一のレンズ
13-1	レンズ・アセンブリ
14	第一のレンズ・ホルダ
15	凸ブロック
16	1芯フェルール
17	第二のレンズ
18	第二のレンズ・ホルダ
19	コモン・ガイド
20	筐体

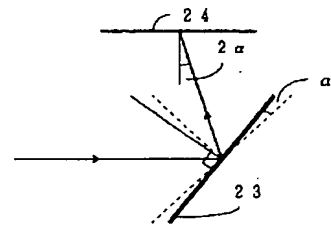
【図 1】

2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成 (その1)



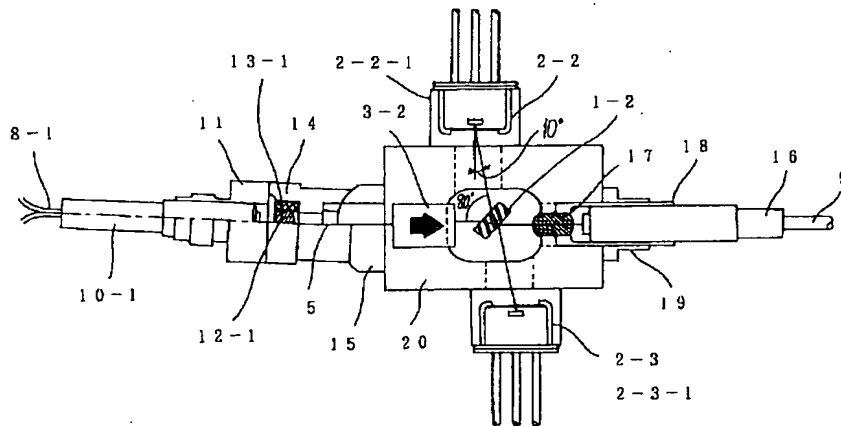
【図 7】

第二の分波器に対する光の入射角を検討するための図



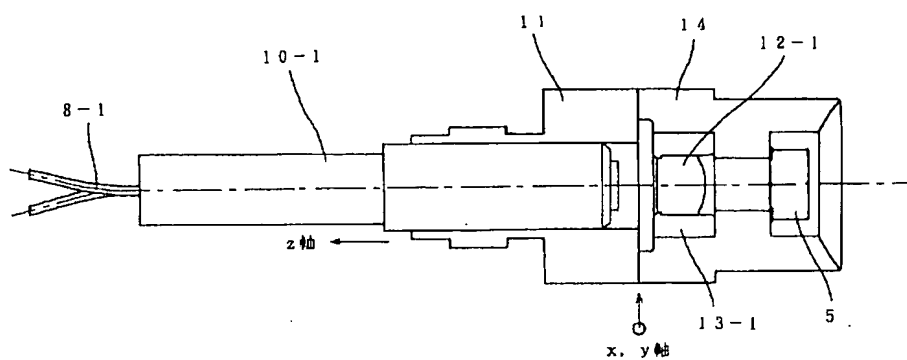
【図 2】

2芯ファイバ・コリメータを用いた後段モジュールの構成 (その1)



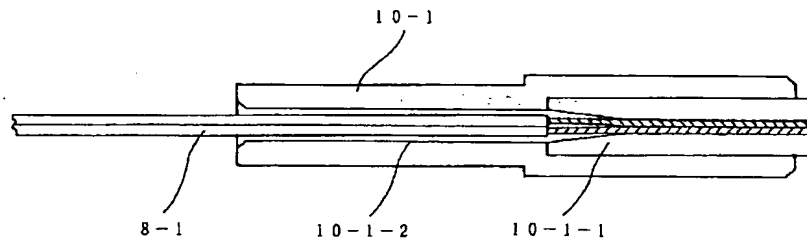
【図 3】

2芯ファイバ・コリメータ部の拡大図



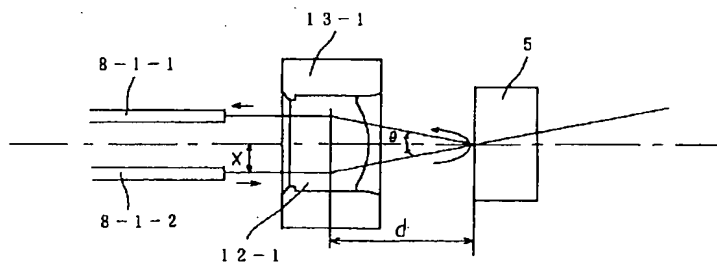
【図 4】

2芯フェルールの詳細



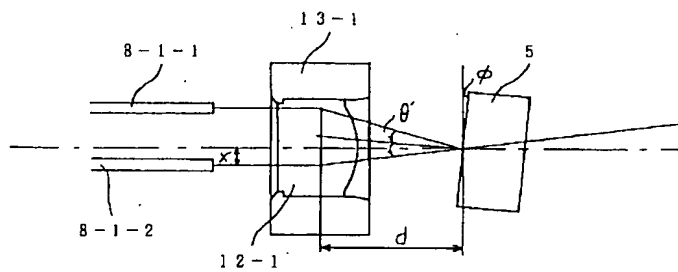
【図 5】

励起光を信号光伝送路に結合するための調整の原理（その 1）



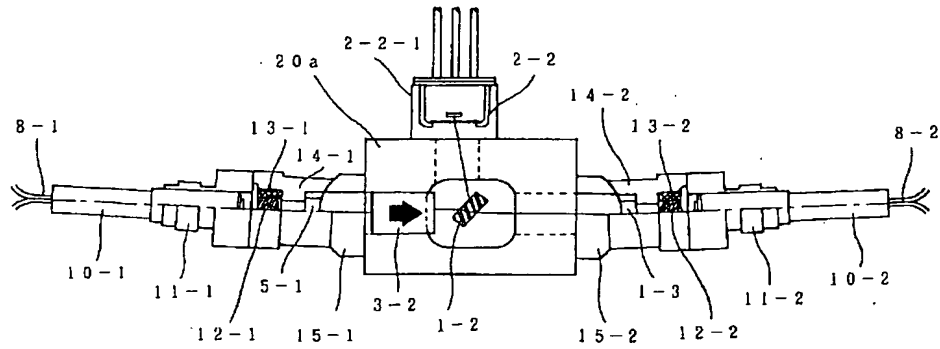
【図 6】

励起光を信号光伝送路に結合するための調整の原理（その 2）



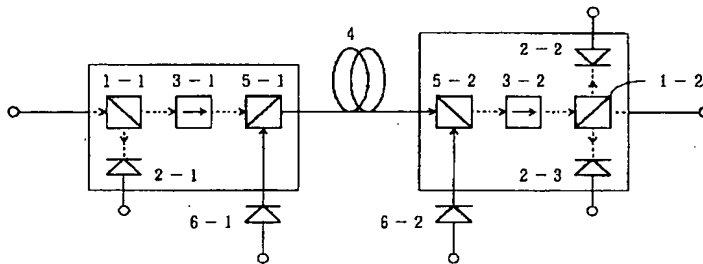
【図 8】

2芯ファイバ・コリメータを用いた後段モジュールの構成 (その2)



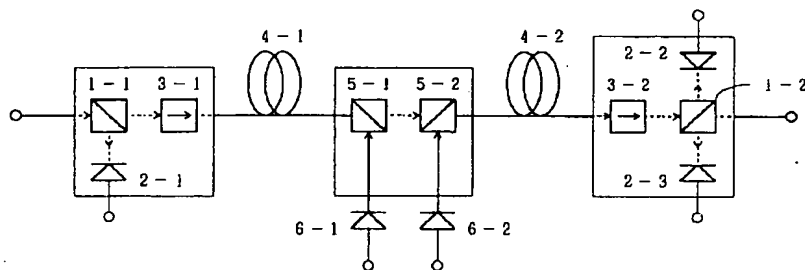
【図 9】

2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成 (その2)



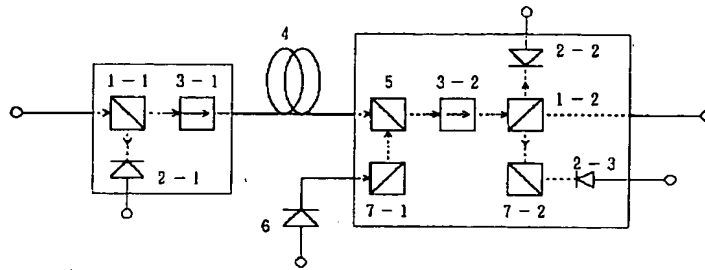
【図 10】

2芯ファイバ・コリメータを用いた光ファイバ増幅器の光回路の構成 (その3)



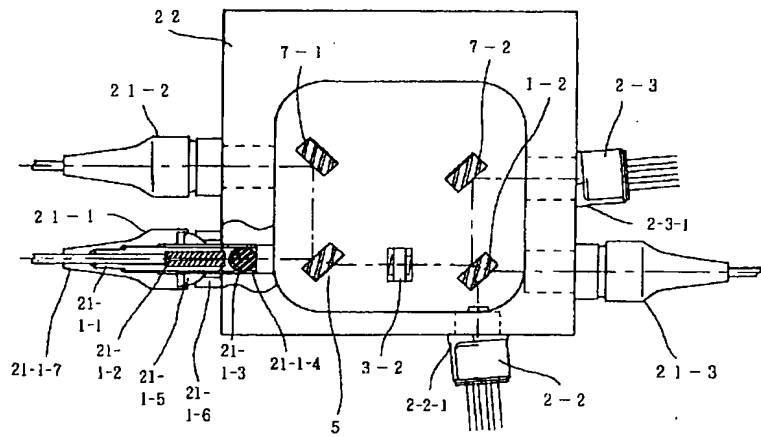
【図 1 1】

従来の光ファイバ増幅器の光回路の構成



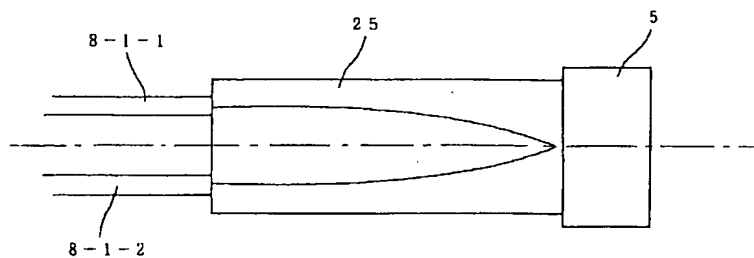
【図 1 2】

従来の光回路モジュールのうち後段モジュール



【図 1 3】

従来のセルフフォーカス・レンズを用いて励起光と信号光とを結合する構成



フロントページの続き

(72) 発明者 辻 由紀子

北海道札幌市中央区北一条西 2 丁目 1 番地
富士通北海道デジタル・テクノロジー株
式会社内

(72) 発明者 長沼 典久

北海道札幌市中央区北一条西 2 丁目 1 番地
富士通北海道デジタル・テクノロジー株
式会社内

(72) 発明者 福島 暢洋

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 安部 健一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内